

Scientific journal
PHYSICAL AND MATHEMATICAL EDUCATION
 Has been issued since 2013.

ISSN 2413-158X (online)
 ISSN 2413-1571 (print)

Науковий журнал
ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА ОСВІТА
 Видається з 2013.



<http://fmo-journal.fizmatsspu.sumy.ua/>

Здешиц В.М., Бакай А.В. Розв'язання дилеми Тарзана: практичний аспект. Фізико-математична освіта. 2019. Випуск 1(19). С. 41-47.

Zdeshchyts V.M., Bakay A.V. Solution Of Tarzan's Dilemma: Practical Aspect. Physical and Mathematical Education. 2019. Issue 1(19). P. 41-47.

DOI 10.31110/2413-1571-2019-019-1-007
 УДК 378.14: 371.214.46:[004.78:51]

В.М. Здешиц

Криворізький державний педагогічний університет, Україна
 valeriy.zdeschits@kdpu.edu.ua, didanaz@i.ua
 ORCID: 0000-0002-2404-8979

А.В. Бакай

Криворізький державний педагогічний університет, Україна
 evil963852@gmail.com

РОЗВ'ЯЗАННЯ ДИЛЕМИ ТАРЗАНА: ПРАКТИЧНИЙ АСПЕКТ

АНОТАЦІЯ

З метою доведення нетривіальної тези, що оптимальний кут відриву від ліани не є 45 градусів, розглянута теорія, яка описує процес стрибка Тарзана через прірву, та проведені дослідження, за допомогою яких цю тезу було теоретично та експериментально доведено.

Формулювання проблеми. Розв'язання дилеми Тарзана дозволяє продемонструвати студентам-фізикам першого курсу силу теоретичної фізики, але неузгодженість її висновків щодо траєкторії та дальності польоту з результатами дослідів значно знижує цінність такого підходу до навчання.

Матеріали і методи. Робота носить теоретичний та прикладний характер. Поставлена проблема вирішувалася за допомогою розроблених дослідницьких установок, параметри процесів в яких були теоретично обґрунтовані. Методологічно дослідження базувалися на відомих законах кінематики та збереження енергії, а її основні науково-практичні результати отримані з використанням відео- та фотореєстрації, цифрових технологій обробки результатів багаточисельних експериментів.

Результати. Основним результатом роботи є отримання формули, яка описує залежність максимальної довжини стрибка Тарзана від кута відриву, швидкості розгону, довжини ліани та її висоти над поверхнею землі. Це дозволяє студентам використовуючи Excel або математичний пакет MathCAD розрахувати траєкторію руху матеріальної точки та її кінематичні параметри, які узгоджуються з експериментом.

Висновки. Доведено, що теоретичні викладки при розгляді будь-якого фізичного явища можна зупиняти лише тоді, коли теоретично отримані залежності повністю узгоджуються з результатами експериментів. Розроблені мініатюрні установки надають можливість фронтального проведення лабораторної роботи на тему: «Тіло кинуте під кутом до горизонту», коли кожному студенту або учню надається дослідницька установка. При цьому можлива різна глибина досліджень з використанням знань не тільки з кінематики, динаміки, аеродинамічних властивостей тіл, оптики, а й методів реєстрації фізичних процесів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: класична механіка, дилема Тарзана, фізична освіта.

ВСТУП

Постановка проблеми. Розв'язати дилему Тарзана зазвичай пропонують американським студентам 1-го курсу, що вивчають кінематику. На її популярність вказує не слабшаючий потік статей в журналах (Trout&Gaston, 2001; Shima, 2012; Rave&Sayers, 2013; Mungan, 2014; Kajiyama, 2016). Умова цього завдання така: Тарзан біжить до ліани, яка висить вертикально на дереві. З її допомогою він збирається перестрибнути яр, учепившись за ліану. У який момент Тарзан повинен відпустити ліану, щоб стрибок вийшов максимально довгим (рис. 1)?

Уявлення українського школяра та студента стосовно дальності польоту кульки, кинутій під кутом до горизонту з деякої висоти, базуються на відомих кінематичних рівняннях. Але дати правильну відповідь на дилему Тарзана вони найчастіше не можуть. Традиційна відповідь, як показує практика, – це кут 45°. Ця проблема не розглядається на уроках фізики. Сучасне шкільне дидактичне забезпечення майже не акцентує увагу на проблемі вибору, що, насамперед, не підвищує рівня компетенції учнів.

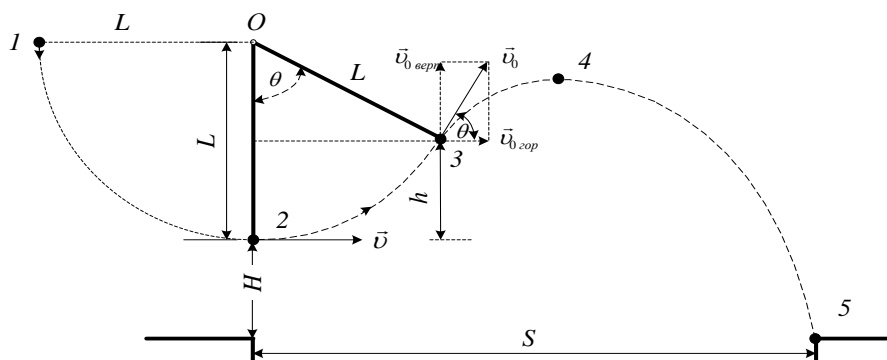


Рис. 1. Траєкторія польоту Тарзана

Аналіз актуальних досліджень. Ми називаємо завдання "дилемою", якщо є присутніми принаймні два конкуруючі чинники. З одного боку, чим раніше Тарзан відпускає ліану, тим більшу швидкість він матиме. З іншого боку, чим довше він тримається, тим далі він буде від стартового краю яру і тим більший початковий кут запуску матиме після того, як відпустить ліану. Питання полягає в тому, при якому куті відриву θ його горизонтальний шлях буде максимальний? Інтуїтивно це кут 45° , оскільки це оптимальний кут для запуску снаряда на максимальній дальності з рівня землі за відсутності опору повітря. А що ж отримаємо в реальному експерименті? Ці співпадають висновки теорії з практикою?

Уточнимо умови завдання: ліана завдовжки L залишається в натягнутому стані протягом всього часу стрибка; вона не має маси, і її кінець спочатку знаходиться на висоті H над землею. Нехай Тарзан - це точкове тіло масою M і він хапає ліану за самий її кінець. Припустимо, що вектор початкової швидкості Тарзана v лежить в горизонтальному напрямі. Ми визначаємо максимальну горизонтальну відстань від початкового положення ліани до кінця стрибка S . Тертям і опором повітря на перших етапах розгляду завдання нехтуємо.

Розглядаючи на першому етапі простіше завдання щодо дальності польоту матеріальної точки, кинutoї під кутом θ з поверхні землі з початковою швидкістю v_0 , ми отримуємо:

$$S = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g}. \quad (1)$$

На другому етапі визначимо відстань S , яку пройде тіло (знову-таки кинуте з початковою швидкістю v_0 під кутом θ до горизонту), що запускається з висоти H над поверхнею землі. Це двовимірне кінематичне завдання, яке описується квадратним рівнянням:

$$H + v_0 \sin \theta \cdot t - \frac{gt^2}{2} = 0, \quad (2)$$

з якого знаходимо час польоту

$$t = \frac{v_0 \sin \theta + \sqrt{(v_0 \sin \theta)^2 + 2gH}}{g}, \quad (3)$$

і пройдену горизонтальну відстань:

$$S = v_0 \cos \theta \cdot t = \frac{v_0 \cos \theta}{g} \left(v_0 \sin \theta + \sqrt{(v_0 \sin \theta)^2 + 2gH} \right). \quad (4)$$

Коли $H \rightarrow 0$, рівняння (4) зводиться до рівняння (1). Використовуючи Excel студенти можуть легко розрахувати траєкторію руху матеріальної точки для різних H . На графіках 1, 2 (рис. 2) видно, що при збільшенні висоти H з 0 м до 2 м (зріст Тарзана), оптимальний кут кидання становить 40° , а не 45° , тобто залежить від H .

При дослідженні траєкторій виявляється, що "оптимальний кут θ_{onm} " для кидка на максимальну відстань зменшується зі збільшенням висоти H , тобто з дуже високих скель для досягнення максимального ефекту слід кидати об'єкт взагалі по горизонталі ($\theta_{onm} = 0$). Точніший результат виходить, якщо узяти першу похідну S' і прирівняти її до нуля: $dS / d\theta = 0$. Отримаємо кубічне рівняння:

$$6z^3 - 4(1-\eta)z^2 + (2+\eta^2)z - \eta = 0, \quad (5)$$

де $z = \sin^2 \theta$, $\eta = \frac{2gH}{v_0^2}$, з розв'язком, яке може бути отримане за формулою Кардано (Trout&Gaston, 2001).

Тепер переходимо власне до розв'язку дилеми Тарзана, використовуючи закон збереження енергії для визначення швидкості відриву "Тарзана" v_0 від ліани довжиною L , якщо його горизонтальна швидкість була v :

$$\frac{Mv^2}{2} = Mgh + \frac{Mv_0^2}{2} . \quad (6)$$

Оскільки (див. рис. 1)

$$h = L - L \cos \theta,$$

отримуємо формулу для визначення швидкості відриву "Тарзана":

$$v_0 = \sqrt{v^2 - 2gh} = \sqrt{v^2 - 2gL + 2gL \cos \theta} . \quad (7)$$

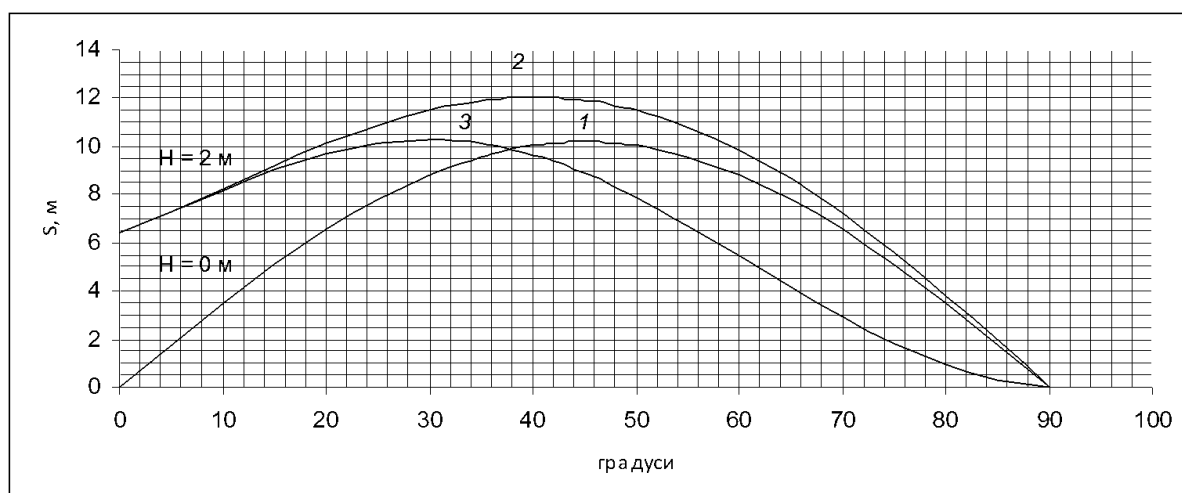


Рис. 2. Графіки залежності дальності польоту S від кута кидання θ при швидкості $v_0 = 10$ м/с

При швидкості Тарзана $v = 10$ м/с він може собі дозволити відчепитися від 5-метрової ліани при кутах $\theta = 0 \div 90^\circ$. Мінімальна швидкість, необхідна для досягнення певного кута θ задається виразом :

$$v_{\min} = \sqrt{2gh} = \sqrt{2gL(1 - \cos \theta)} \quad (8)$$

Критичний кут, при якому завдання втрачає фізичний сенс

$$\theta_c = \arccos \left(1 - \frac{v^2}{2gL} \right) \quad (9)$$

Підставимо рівняння (7) в (4), додавши $L \sin \theta$, і отримаємо залежність дальності стрибка від кута відриву θ :

$$S = L \sin \theta + \frac{\cos \theta}{g} \sqrt{v^2 - 2gL + 2gL \cos \theta} \times \left[\left(\sqrt{v^2 - 2gL + 2gL \cos \theta} \right) \sin \theta + \sqrt{(v^2 - 2gL + 2gL \cos \theta) \sin^2 \theta + 2g(H + L - L \cos \theta)} \right] \quad (10)$$

Оцінимо вплив довжини лози L на довжину стрибка. При малих L , рівняння (10) переходить в рівняння (4), що свідчить про те, що довжина лози, як і слід було чекати, не грає ніякої ролі у визначенні S . Для великих L існує критичний кут, вище за який немає розв'язку задачі, оскільки один з підкорінних виразів стає негативним.

На графіку 3 (рис. 2) побудованому за формулою (10) видно, що оптимальний кут, при якому досягається максимальна дальність польоту, складає величину 30 градусів, а не 45° . Оскільки для багатьох учнів цей результат є несподіваним і найчастіше цю розбіжність вони пояснюють опором повітря, виникає необхідність на практиці підтвердити висновки теорії. В роботах (Trout&Gaston, 2001; Shima, 2012; Rave&Sayers, 2013; Mungan, 2014; Kajiyama, 2016) опір повітря не враховується, а достовірність формули (10) в дослідях не підтверджена.

З огляду на це метою статті є розв'язання дилеми Тарзана на розробленому пристрої та аналіз одержаних результатів.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Робота носить теоретичний та прикладний характер. Методологічно робота базувалася на відомих законах кінематики та збереження енергії, а її основні науково-практичні результати отримані з використанням відеореєстрації, та цифрових технологій обробки результатів експериментів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для демонстрації явища та доведення нетривіальної тези, що оптимальний кут відриву Тарзана від ліани не є 45 градусів, були розроблені дослідні установки, за допомогою яких ця теза експериментально доводиться (рис. 3). Для проведення фронтальної лабораторної роботи на задану тему були виготовлені лабораторні установки, які кріпляться на столі кожного учня (рис. 3, б).

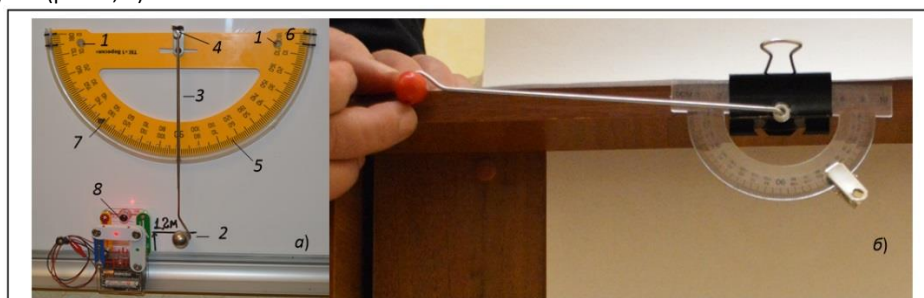


Рис. 3. Дослідні установки для розв'язання дилеми Тарзана

Розглянемо будову дослідних установок, які кріпляться до штатива, або дошки за допомогою присосок 1 на деякій висоті H від підлоги (рис. 3, а). Кулька 2 нанизана на гачок підвісу 3 довжиною $L = 0,3$ м. Гачок перпендикулярний до спиці підвісу, який має можливість обертатися навколо осі 4, яка є центром транспортера 5. Отже, відлік стартового положення кульки фіксується по шкалі транспортера. Ціна поділки транспортера – 1° . Для надання швидкості кулька на підвісі відводиться ліворуч на кут 90° до упору 6 і відпускається. Спиця з кулькою спільно рухається до зустрічі з відбійником 7, за допомогою якого задається кут відриву кульки θ . Після звільнення з гачка кулька рухається по дотичній до траєкторії зі швидкістю v_0 .

Величину горизонтальної швидкості v можна визначати трьома способами. Спосіб, який використовує тільки теоретичні викладки, полягає в використанні закону збереження енергії. Якщо кульку масою M підняти на висоту L (точка 1 на рис. 1), то її потенціальна енергія збільшиться на:

$$\Delta E_{\text{ном}} = MgL. \quad (11)$$

За законом збереження енергії вона перетвориться в нижній точці траєкторії 2 в кінетичну енергію

$$MgL = \frac{Mv^2}{2}. \quad (12)$$

Тобто квадрат швидкості тіла у точці 2 (рис. 3, а) буде дорівнювати:

$$v^2 = 2gL. \quad (13)$$

Підставимо цей вираз в рівняння (10) та отримаємо розрахункову формулу:

$$S = L \left[\sin \theta + 2 \cos^2 \theta \cdot \left(\sin \theta + \sqrt{\frac{H+L}{L \cos \theta} - \cos^2 \theta} \right) \right]. \quad (14)$$

Другий спосіб дозволяє експериментально визначити значення v шляхом вимірювання дальності польоту кульки $S_0 = S(\theta=0)$, коли кут відриву $\theta = 0$. Тоді $v^2 = S_0^2 g / 2H$ і формула (10) буде виглядати так:

$$S = L \sin \theta \left\{ 1 + \frac{a \cdot \cos \theta}{g} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{2g}{a \cdot \sin^2 \theta} [H + L(1 - \cos \theta)]} \right] \right\}. \quad (15)$$

де $a = g \left[\frac{S_0^2}{2LH} - 2(1 - \cos \theta) \right]$.

Третій спосіб полягає в експериментальному визначенні швидкостей v_0 і v за допомогою фотодатчика 8 (див. рис. 3, а). Принцип реєстрації швидкості полягає в визначенні часу перекриття Δt світлового потоку кулькою діаметром d . Тоді швидкість в даній точці траєкторії буде визначатися як $v = d / \Delta t$.

Реєстрація точки падіння ведеться візуально з використанням маркерів, а траєкторії руху – за допомогою смартфона в режимі slow motion з подальшою обробкою відеозапису комп'ютерною програмою "Tracker" (рис. 4).

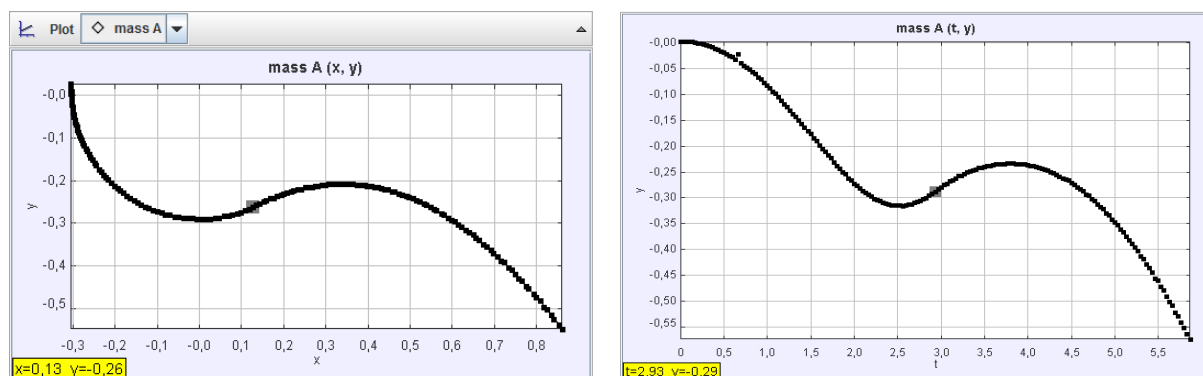


Рис. 4. Траєкторія польоту кульки: мітка на графіку – точка відриву кульки від спиці – ліані

Типові результати теоретичних та експериментальних досліджень наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Результати дослідів ($L = 0,3$ м, $H = 1,2$ м, $v = 2,5$ м/с)

θ , градуси	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
S , м	1,237	1,32	1,37	1,41	1,425	1,43	1,38	1,3	1,23	1,12
$S_{\text{теор}} [10]$, м	1,237	1,313	1,376	1,422	1,449	1,454	1,437	1,396	1,332	1,247

ОБГОВОРЕННЯ

Як видно з даних табл. 1, існує деяка розбіжність у залежностях: максимальна дальність польоту настає при різних кутах відриву: в експериментах $\theta_{\text{опт}} = 25^\circ$, $S_{\text{max}} = 1,43$ м, а згідно рівнянню [10] $\theta_{\text{опт}}^{\text{теор}} = 23,5^\circ$, $S_{\text{max}} = 1,455$ м. Чи може ця

різниця бути пов'язана з опором повітря, сила якого в залежності від режиму течії газу може бути лінійно або квадратично пропорційна швидкості руху тіла? Розглянемо це питання.

У книзі Я.І. Перельмана "Цікава фізика" про вплив повітря розповідається так: "Покинувши ствол рушниці під кутом 45° , з початковою швидкістю 620 м/с, куля описала б дугу в 10 км заввишки; дальність польоту склала б майже 40 км. Насправді ж куля за вказаних умов описує порівняно невелику дугу і дальність її польоту складає 4 км. Такий результат протидії повітря!". В нашому випадку режим течії визначається числом Рейнольдса для сталеві кульки діаметром

$$d = 2,5 \text{ см, яка рухається з максимальної швидкістю } v = S_0 \sqrt{\frac{g}{2H}} = 1,135 \sqrt{\frac{9,81}{2 \cdot 0,9}} = 2,5 \text{ м/с в повітрі } (\rho_n = 1,29 \text{ кг / м}^3),$$

коефіцієнт динамічної в'язкості якого для сталеві кульки дорівнює $\eta = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$:

$$Re = d\rho_n v / \eta \approx 5000.$$

При малих значеннях Re домінує сила внутрішнього тертя. Якщо число Рейнольдса $Re \ll 1$, то течія ламінарна і залежність сили опору повітря від швидкості лінійна. При значеннях числа Рейнольдса $1 < Re < 20000$, домінує сила динамічного лобового опору. Ця область відповідає переходу від ламінарної до турбулентної течії при цьому коефіцієнт опору в області $Re = 5000$ досягає свого мінімального стабільного значення, а залежність сили опору повітря – квадратична:

$$\vec{F}_C = -k|\vec{v}|\vec{v}, \quad k > 0. \quad (16)$$

Другий закон Ньютона для цього випадку має вигляд

$$M \frac{d\vec{v}}{dt} = M\vec{g} - k|\vec{v}|\vec{v}, \text{ або } \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{g} - \frac{k}{M}|\vec{v}|\vec{v}. \quad (17)$$

У скалярному виді це рівняння має вигляд:

$$\begin{cases} \frac{dv_x}{dt} = -\frac{k}{M} \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \cdot v_x \\ \frac{dv_y}{dt} = -g - \frac{k}{M} \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \cdot v_y \end{cases} \quad (18)$$

Це система нелінійних диференціальних рівнянь, яку не вдається розв'язати в явному виді, тому необхідно застосувати чисельне моделювання. Комп'ютер дозволяє досить швидко вирішити цю складну систему рівнянь, побудувати графік залежності (рис. 5). Досліджуючи графік $y = y(t)$ з'являється можливість довести, що з-за сили опору повітря час підйому тіла менше часу спуску на той же рівень. Окрім цього можна обчислити швидкість і її проекції на осі в даний момент часу, знайти нормальне і тангенціальне прискорення, радіус кривизни траєкторії, з'ясувати величину прискорення тіла тощо.

Отже, дане завдання, пов'язане з дилемою Тарзана, дозволяє сформулювати у студентів уявлення про можливості використання математичного пакету MathCAD при вивченні фізики. Студентам наочно показується, що комп'ютерне моделювання, проведення обчислювального експерименту є одним з сучасних методів дослідження фізичних явищ. Майбутні учителі фізики повинні мати уявлення про комп'ютерні моделі, чисельні методи вивчення різних об'єктів пізнання, вільно орієнтуватися в сучасних програмних продуктах.

Як видно з рис. 5 для розробленої установки впливом опору повітря на траєкторію руху кульки можна нехтувати. Тому остається дослідити роботу пускового приладу: чи дійсно він працює як задано початковими умовами: маса ліани $m = 0$, маса кульки $M \neq 0$?

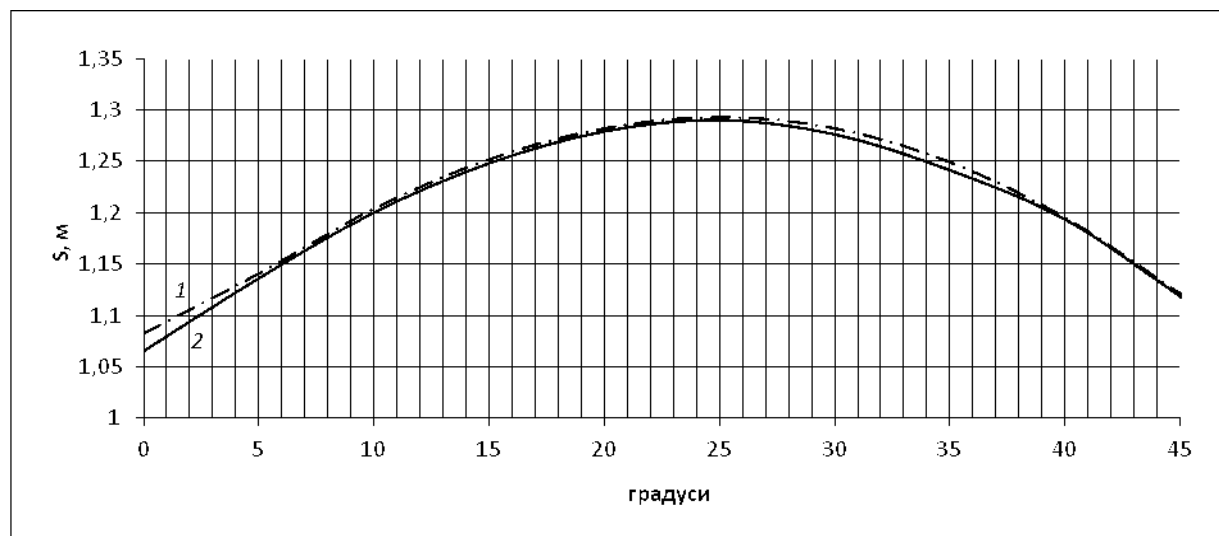


Рис. 5. Розрахунок залежності дальності польоту кульки від кута відриву:
1 – без врахуванням сили опору повітря, 2 – з врахуванням сили опору повітря

Ясно, що при виготовленні установки стрижень (ліана), на якому кріпиться куля має масу $m \neq 0$, тому необхідно враховувати момент інерції стрижня і вносити поправку $k = 1 + \frac{m}{2(3M + m)}$ в формулу (10):

$$S = L \sin \theta + \frac{\cos \theta}{g} \sqrt{v^2 - 2gLk(1 - \cos \theta)} \times$$

$$\times \left[\left(\sqrt{v^2 - 2gLk(1 - \cos \theta)} \right) \sin \theta + \sqrt{\left(v^2 - 2gLk(1 - \cos \theta) \right) \sin^2 \theta + 2g(H + L - L \cos \theta)} \right] \quad (19)$$

Для порівняння на рис. 6 наведено графіки залежності дальності польоту кульки від кута відриву: 1 – експеримент, 2 – розрахунковий згідно формули (19), коли $k = 1,25$, 3 – згідно формули (10), коли $k = 1$.

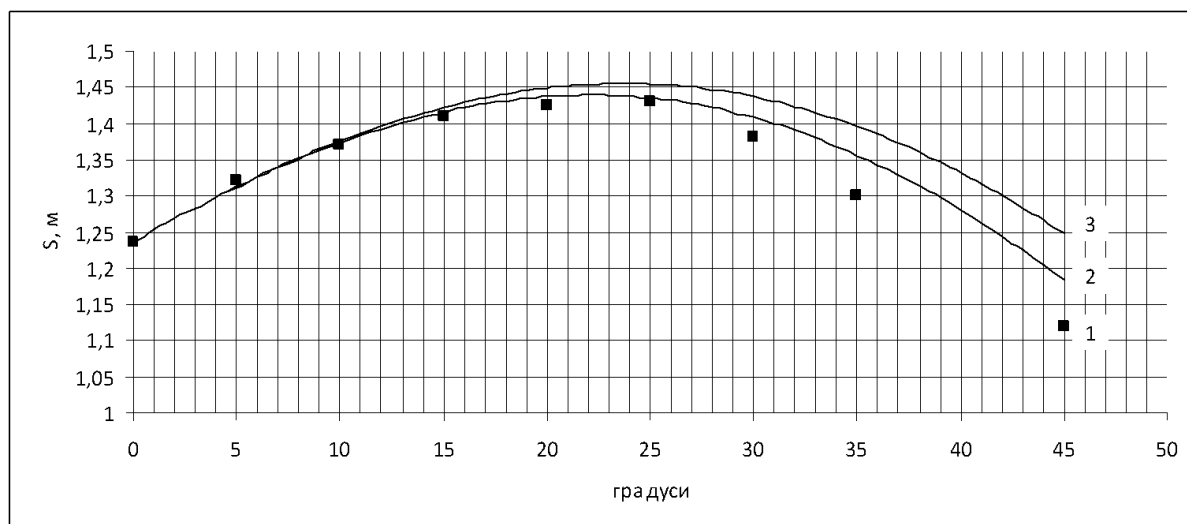


Рис. 6. Графіки залежності дальності польоту кульки від кута відриву

Як видно з графіка 2 формула (19) вірно описує експериментальну залежність дальності польоту кульки S від кута відриву θ . Максимальна дальність польоту складає $S_{\max} = 1,439$ м при $\theta = 22^\circ$, що майже вдвічі менше 45° .

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

З метою доведення нетривіальної тези, що оптимальний кут відриву від ліани не є 45 градусів, була розроблена теорія, яка описує процес стрибка Тарзана через прірву, та проведені дослідження, за допомогою яких цю тезу було теоретично та експериментально доведено.

Формула, яка описує залежність максимальної довжини стрибка Тарзана від кута відриву, швидкості розгону, довжини ліани та її висоти над поверхнею землі, дозволяє студентам використовуючи Excel або математичний пакет MathCAD розрахувати траєкторію руху матеріальної точки та його кінематичні параметри.

Розв'язок задачі, поданої у вигляді "дилеми Тарзана", за допомогою розроблених дослідницьких установок дозволяє вирішити ряд важливих для навчального процесу завдань. Перший урок, які отримують студенти теоретично і практично вирішуючи дилему Тарзана полягає в тому, що складну проблему можна розбити на ряд простіших. Другий урок полягає в демонстрації сили теоретичної фізики, підкріпленої експериментами. Третє надбання – в отриманні дуже корисної математичної практики і придбанні конкретних навичок роботи з відео реєстраторами та комп'ютером при теоретичних дослідженнях і обробці результатів фізичних експериментів.

Ще одним важливим результатом проведеної роботи є доведення того факту, що теоретичні викладки при розгляді будь-якого явища можна зупиняти лише тоді, коли теоретично отримані залежності повністю узгоджуються з результатами експериментів.

Перевагою розробленої мініатюрної установки є можливість фронтального проведення лабораторної роботи на тему: «Тіло кинуте під кутом до горизонту», коли кожному студенту або учню надається дослідницька установка. При цьому можлива різна глибина досліджень з використанням знань не тільки з кінематики, динаміки, аеродинамічних властивостей кинутих тіл різної форми, оптики, а й методів реєстрації фізичних процесів.

Список використаних джерел

1. Kajiya Y. Tarzan's dilemma for elliptic and cycloidal motion. *Journal of Basic and Applied Physics*. 2016, Vol. 5, Issue 1, P. 1-7.
2. Mungan C. E. Analytically solving Tarzan's dilemma. *The Physics Teacher*. 2014. Vol. 52. P. 6.
3. Rave M., Sayers M. Tarzan's dilemma: A challenging problem for Introductory physics students. *The Physics Teacher*. 2013. Vol. 51, Issue 8. P. 456-458.
4. Shima H. How far can Tarzan jump? *European Journal of Physics*. 2012. Vol. 33. P. 1687-1693.
5. Trout K. P., Gaston C. A. Active-learning physics experiments using the Tarzan swing. *The Physics Teacher*. 2001. Vol. 39, Issue 3. P. 160-163.

References

1. Kajiya, Y. (2016). Tarzan's dilemma for elliptic and cycloidal motion. *Journal of Basic and Applied Physics*. 5, 1, 1-7.
2. Mungan, C. E. (2014). Analytically solving Tarzan's dilemma. *The Physics Teacher*. 52. 6.

3. Rave, M., Sayers, M. (2013). Tarzan's dilemma: A challenging problem for Introductory physics students. *The Physics Teacher*. 51, 8. 456–458.
4. Shima, H. (2012). How far can Tarzan jump? *European Journal of Physics*. 33. 1687–1693.
5. Trout, K. P., Gaston, C. A. (2001). Active-learning physics experiments using the Tarzan swing. *The Physics Teacher*. 39, 3. 160–163.

SOLUTION OF TARZAN'S DILEMMA: PRACTICAL ASPECT

V.M. Zdeschchys, A.V. Bakay

Kyryv Rih State Pedagogical University, Ukraine

Abstract. In order to prove the non-trivial thesis that the optimal angle of separation from the veneer is not 45 degrees, a theory has been developed that describes the process of Tarzan's jump through the abyss, and studies have been carried out to help theoretically and experimentally prove this thesis.

Formulation of the problem. The solution of Tarzan's dilemma makes it possible to demonstrate the strength of theoretical physics to first-year physics students, but the inconsistency of its conclusions on the trajectory and range of flight with the results of experiments greatly reduces the value of this approach to learning.

Materials and methods. The work is theoretical and applied. The problem was solved with the help of developed research facilities, parameters of processes in which were theoretically substantiated. Methodological research based on the known laws of kinematics and energy conservation, and its main scientific and practical results obtained using video- and photo recording, digital processing of the results of numerous experiments.

Results. The main result of the work is to obtain a formula that describes the dependence of the maximum length of the Tarzan jump from the angle of separation, acceleration rate, length of the veneer and its height above the surface of the earth. This allows students to use the Excel or mathematical package MathCAD to calculate the trajectory of the material point and its kinematic parameters that are consistent with the experiment.

Conclusions. It is proved that the theoretical calculations when considering any physical phenomenon can be stopped only when the dependence theory fully consistent with experimental results. Developed miniature installations provide the possibility of frontal conducting of laboratory work on the topic: "Body thrown at an angle to the horizon," when each student or pupil is provided with a research facility. At the same time possible different depth of research with the use of knowledge not only from kinematics, dynamics, aerodynamic properties of bodies, optics, but also methods of registration of physical processes.

Key words: classical mechanics, Tarzan's dilemma, physics education.